

**ВОЗРАСТ И СОСТАВ МАГМАТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ КАЙНОЗОЙСКОГО
ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ШЕЛЬФА О. САХАЛИН**

**П.Ю. Ковтунович¹, Е.С. Рудницкая¹, Л.С. Сафронова¹, В.А. Лебедев², А.В. Левин³,
Н.А. Малышев⁴, В.Е. Вержбицкий⁴, В.В. Обметко⁴, А.А. Бородулин⁴**

¹ООО «РН-Шельф-Арктика», пр. Мира 426/1, г. Южно-Сахалинск, 693004; e-mail: pkovt@mail.ru,
rudnitskayaes@rnsha-ys.rosneft.ru, safroнова.lyudmila2012@yandex.ru

²ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
Старомонетный пер. 35, г. Москва, 119017; e-mail: leb@igem.ru

³ООО «ННК-СахалинНИПИморнефть», ул. Амурская 53, г. Южно-Сахалинск, 693009; e-mail: alekskrust@rambler.ru

⁴ПАО «НК «Роснефть», ул. Дубининская 31А, г. Москва, 115054; e-mail: n_malyshev@rosneft.ru,
v_verzhbitskiy@rosneft.ru, v_obmetko@rosneft.ru, a_borodulin@rosneft.ru

Поступила в редакцию 23 июля 2021 г.

Впервые для магматических пород из керна пробуренных ранее на шельфе Сахалина скважин были получены данные по их К-Аг изотопному возрасту и петролого-геохимическому составу. На основании полученных результатов эти магматические образования были сопоставлены с породами анивского, орловского, ламанонского и чеховского вулканических комплексов. На западном побережье Сахалина для пород лесогорского гипабиссального комплекса малых интрузий получены изотопные датировки, значительно уточняющие возраст его формирования (8.9–16.2 млн лет).

Ключевые слова: К-Аг изотопный возраст, шельф, анивский комплекс, орловский комплекс, ламанонский комплекс, чеховский комплекс, лесогорский комплекс, о. Сахалин.

ВВЕДЕНИЕ

В конце XX века в скважинах на шельфе о. Сахалин (рис. 1) были вскрыты разновозрастные магматические образования.

В южной части сахалинского шельфа в скв. Монеронская-1, 2, Петровская-1, Новиковская-1 магматические породы отнесены к образованиям акустического фундамента, причем в двух последних скважинах они выделены только по данным каротажа и анализу бурового шлама [4, 5].

Магматические образования кайнозойского осадочного чехла выявлены в скв. Виндиская-1, Кузнецовская-1, Изыльметьевская-1, -2, Красногорская-1, Гавриловская-2, Ильинская-1, Лебяжьиная-1, Вахрушевская-1 [3, 4].

В первых четырех скважинах эти образования выделены на основании каротажных данных и анализа шлама. В остальных скважинах из магматических пород был отобран керн. К настоящему времени керн из скв. Красногорская-1 полностью утрачен.

Сохранившийся керн из буровых скв. Гавриловская-2, Надеждинская-1, Ильинская-1, Вахрушев-

ская-1 и Лебяжьиная-1 хранится в кернохранилище ООО «РН-СахалинНИПИморнефть» (СахНИПИ) в г. Оха.

В пределах кайнозойского осадочного чехла Татарского пролива на сейсмических разрезах отмечены многочисленные волновые аномалии неясного генезиса, которые характеризуются динамически выраженными отражениями, секущими слоистую толщу и обычно имеющими форму «тарелки» (рис. 2).

Протяженность таких аномальных «тел» составляет от первых сотен метров до 10 км; их мощность не более 60 м. В потенциальных полях выделенные «тела» выражены амплитудными гравитационными (до 10 мГал) и магнитными (до 200–400 нТл) аномалиями изометрической формы. Такие повышенные значения плотности и магнитной индуктивности пород этих аномалий позволяют связывать их возможный генезис с проявлением магматизма. Хотя ни одна из этих аномалий скважинами не вскрыта, но большинство из них, судя по возрасту внедрения и форме тел, можно сопоставлять с пластообразными интрузивными телами средне-позднемиоценового лесогор-

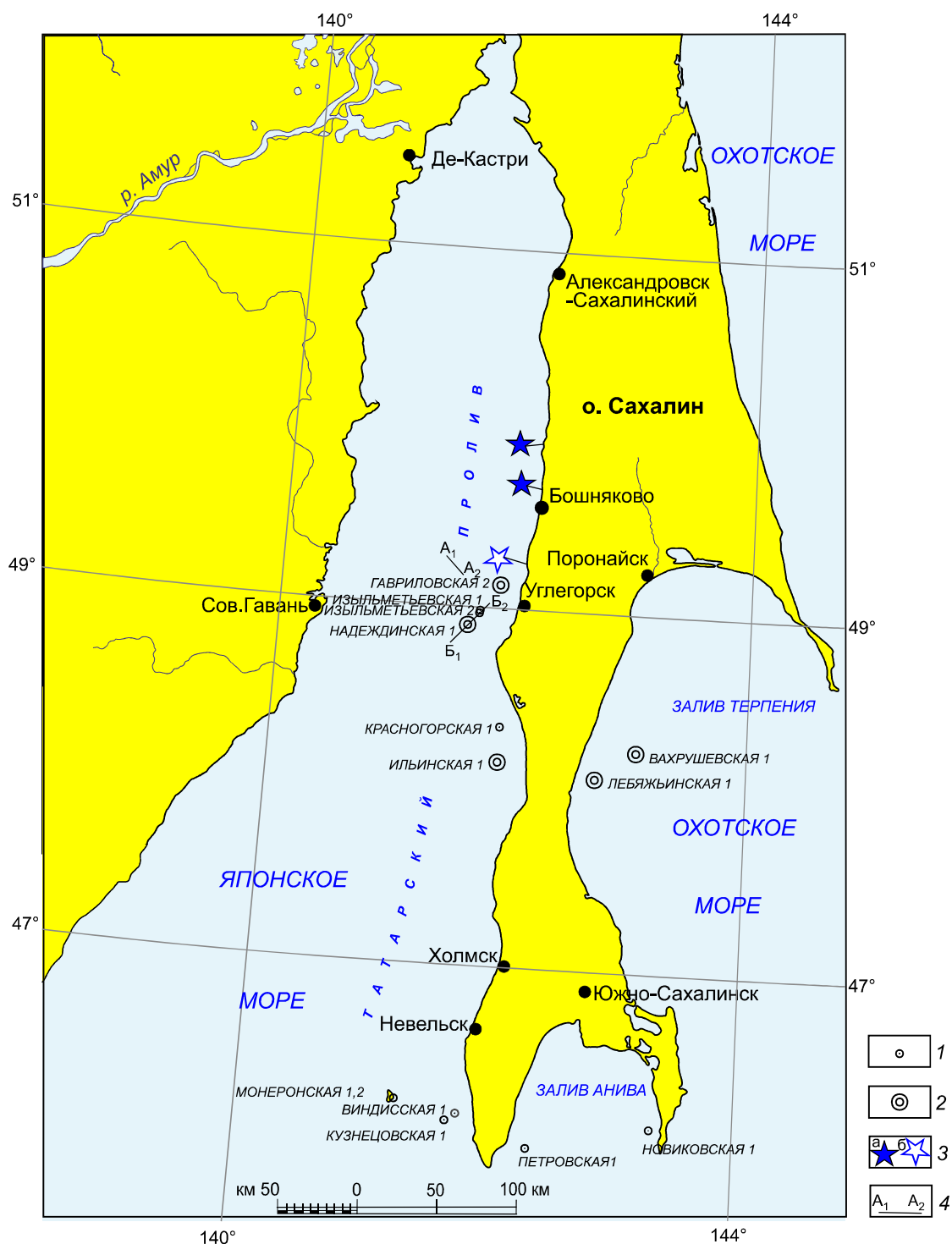


Рис. 1. Район исследования магматических горных пород.

1 – буровые скважины, вскрывшие магматические горные породы в акустическом фундаменте или в осадочном чехле (породы чехла керном не охарактеризованы); 2 – буровые скважины, вскрывшие магматические горные породы в осадочном чехле, охарактеризованные керном; 3 – места изотопных датировок пород лесогорского гипабиссального комплекса на прилегающей суше: а – выполненных авторами статьи (район м. Белкина и м. Бакланова), б – выполненных предшественниками; 4 – сейсмические профили (и их буквенная индексация), проходящие через породы магматических комплексов.

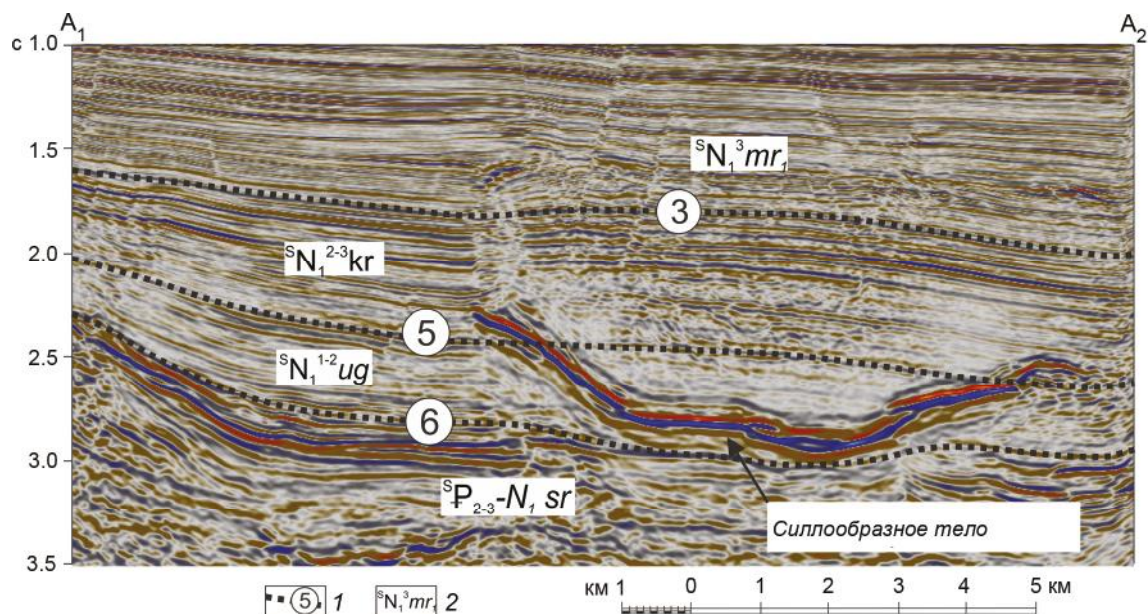


Рис. 2. Временной сейсмический разрез по линии A_1 – A_2 (рис. 1).

1 – сейсмогоризонты и их номера; 2 – сейсмокомплексы и их названия: $^sN_1^3 mr_1$ – нижнемаруямский, $^sN_1^{2-3} kr$ – курасийский, $^sN_1^{1-2} ug$ – углегорский, $^sP_{2-3}-N_1 sr$ – сергеевский.

ского сиенит-эссекситового комплекса, развитого в пределах островной суши Западного Сахалина, возраст которого до настоящего времени определялся неоднозначно.

Помимо сейсмических аномалий типа «тарелки» в пределах шельфа Татарского пролива в волновой картине отмечаются сейсмические аномалии, по форме напоминающие очень пологие конусы подводных палеовулканических построек. Одна из таких конусообразных аномалий протяженностью около 20 км вскрыта скв. Надеждинская-1 в инт. 1500–2250 м (рис. 3). Породы этого интервала в скважине были описаны в 1989 г. в отчете Ф.Е. Борисова как пачка лав основного и кислого состава, переслаивающихся с гиалокластитами (туфами), туффитами и прослоями аргиллитов и алевролитов. Возраст и генезис описанных вулканитов постоянно вызывал дискуссии среди специалистов-геологов, что и побудило авторов к написанию данной статьи.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В 2019 г. авторами данной работы (П.Ю. Ковтуновичем и Е.С. Рудницкой) в рамках комплексных региональных исследований было проведено макро- и микроскопическое изучение керна скв. Гавриловская-2, Надеждинская-1, Ильинская-1 и Лебяжинская-1 и образцов горных пород из этих скважин, хранящихся в геологическом музее ООО «СахалинНИПИморнефть» в г. Оха. Кроме того, из керна маг-

матических пород были отобраны пробы на определение содержаний в них петрогенных оксидов, микрокомпонентов и изотопное датирование (К-Аг метод). Магматические породы были изучены по петрографическим шлифам, в том числе из шлифотеки ООО «СахалинНИПИморнефть».

Образцы горных пород из лесогорского комплекса малых интрузий для изотопного датирования, определения содержаний породообразующих оксидов и микроэлементов были отобраны П.Ю. Ковтуновичем и Л.С. Сафроновой (ООО «РН-Шельф-Арктика») в 2019 г. в ходе полевых работ, проведенных ООО «РН-СахалинНИПИморнефть» по заказу ПАО «НК «Роснефть» в рамках региональных исследований на западном побережье о. Сахалин (м. Белкина, м. Бакланова) (рис. 1).

Из магматических горных пород было отобрано 7 проб на изотопное датирование и 7 проб для анализа содержания в них породообразующих оксидов и микроэлементов. Из керна скважин Ильинская-1, Лебяжинская-1, Гавриловская-2 было взято по одной пробе, из скв. Надеждинская-1 – две пробы. Из береговых обнажений лесогорского сиенит-эссекситового гипабиссального комплекса были отобраны две пробы (2011-2 – м. Бакланова и 2021-1 – м. Белкина). По всем пробам, где была возможность проведения минералогической сепарации отдельных минералов или основной массы (вулканического стекла), было получено несколько мономинеральных фракций, которые

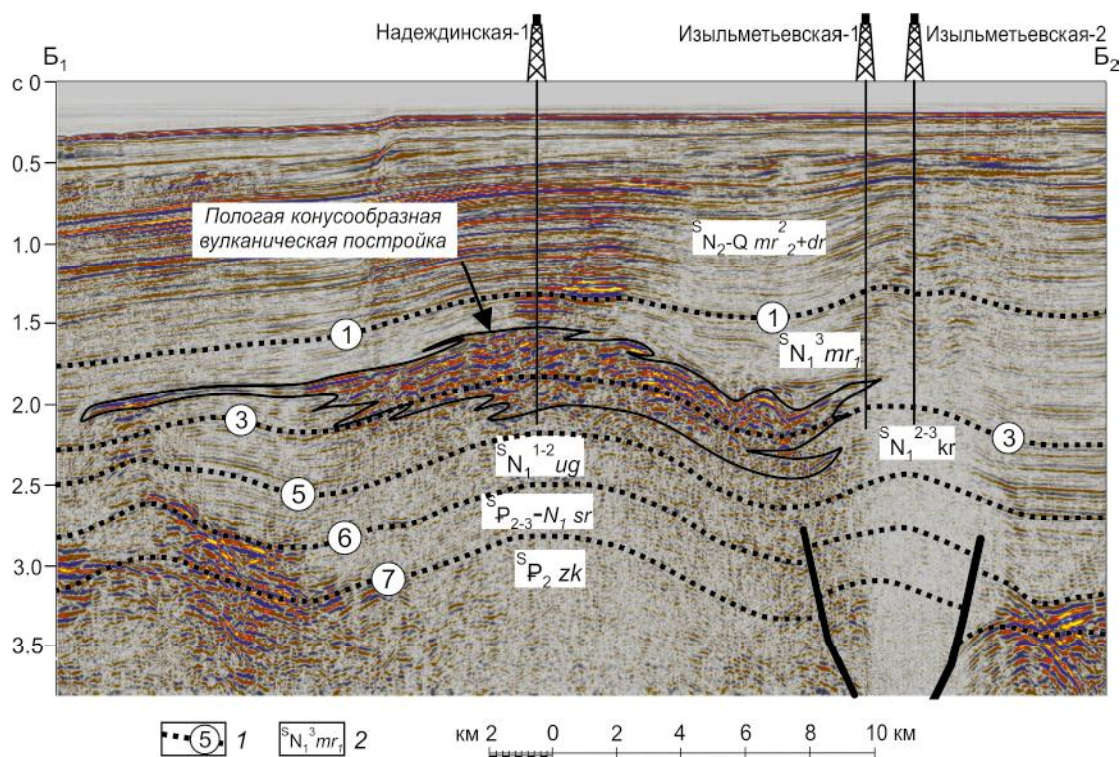


Рис. 3. Временной сейсмический разрез по линии Б₁–Б₂ (см. рис. 1).

1 – сейсмогоризонты и их номера; 2 – сейсмокомплексы и их названия: $S_{N_2-Q} mr_2 + dr$ – верхнемаруямский и дерюгинский объединенные, $S_{N_1^3} mr_1$ – нижнемаруямский, $S_{N_1^{2-3}} kr$ – курасийский, $S_{N_1^{1-2}} ug$ – углегорский, $S_{P_{2-3}-N_1} sr$ – сергеевский, $S_{P_2} zk$ – западнокамышевый.

анализировались отдельно. Сепарация проводилась в Центре коллективного пользования «Аналитический центр геохимии природных систем» Томского Государственного университета. Всего для определения изотопного возраста (К-Аг метод) из 7 проб было подготовлено 15 фракций (табл. 1).

Определение содержания радиогенного аргона в 15 образцах проведено в лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ИГЕМ РАН на масс-спектрометре МИ-1201 ИГ методом изотопного разбавления с применением в качестве трассера ^{38}Ar ; определение калия – методом пламенной спектрофотометрии. При расчете возраста использованы константы: $\lambda_K = 0.581 \cdot 10^{-10} \text{год}^{-1}$, $\lambda_{\beta-} = 4.962 \cdot 10^{-10} \text{год}^{-1}$, $^{40}K = 0.01167$ (ат. %).

Определение содержаний породообразующих оксидов и микроэлементов в магматических породах проведено в Центре коллективного пользования «Аналитический центр геохимии природных систем» Томского Государственного университета (табл. 2). Породообразующие оксиды определялись М.А. Самохваловым рентгеноспектральным флуоресцентным анализом, а микрокомпоненты (редкие и редкоземельные элементы) – масс-спектрометрическим методом с

индуктивно-связанной плазмой (ICP MS) (аналитики: Рабцевич Е.С., Никитина Е.И., Трофимова Т.В., Бабенков Д.Е., Власкина М.Ю.).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате проведенных в 2019 г. исследований кайнозойских вулканических образований западного и юго-восточного шельфа о. Сахалин были впервые получены данные об их петролого-геохимических характеристиках, включая прецизионные анализы содержаний породообразующих оксидов и микроэлементов (табл. 2). Кроме того, для изученных пород впервые было проведено изотопное датирование, выполненное К-Аг методом (табл. 1).

В инт. 1500–2250 м скв. Надеждинская-1 (рис. 4) вскрыты продукты подводных гидровулканических извержений, которые представлены чередованием пачек кислых и основных гидроэксплозивных* туфов и туффитов агломератовой, псефито-агломератовой и псаммитовой размерности с редкими, вероятно рвущими, телами риолитов в верхней части интервала (рис. 4).

*Термин из Петрографического кодекса России [6].

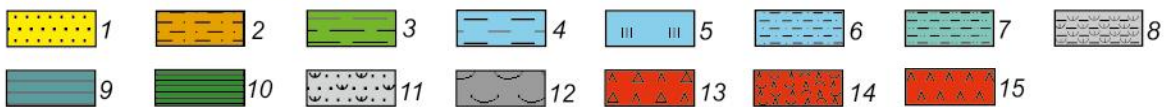
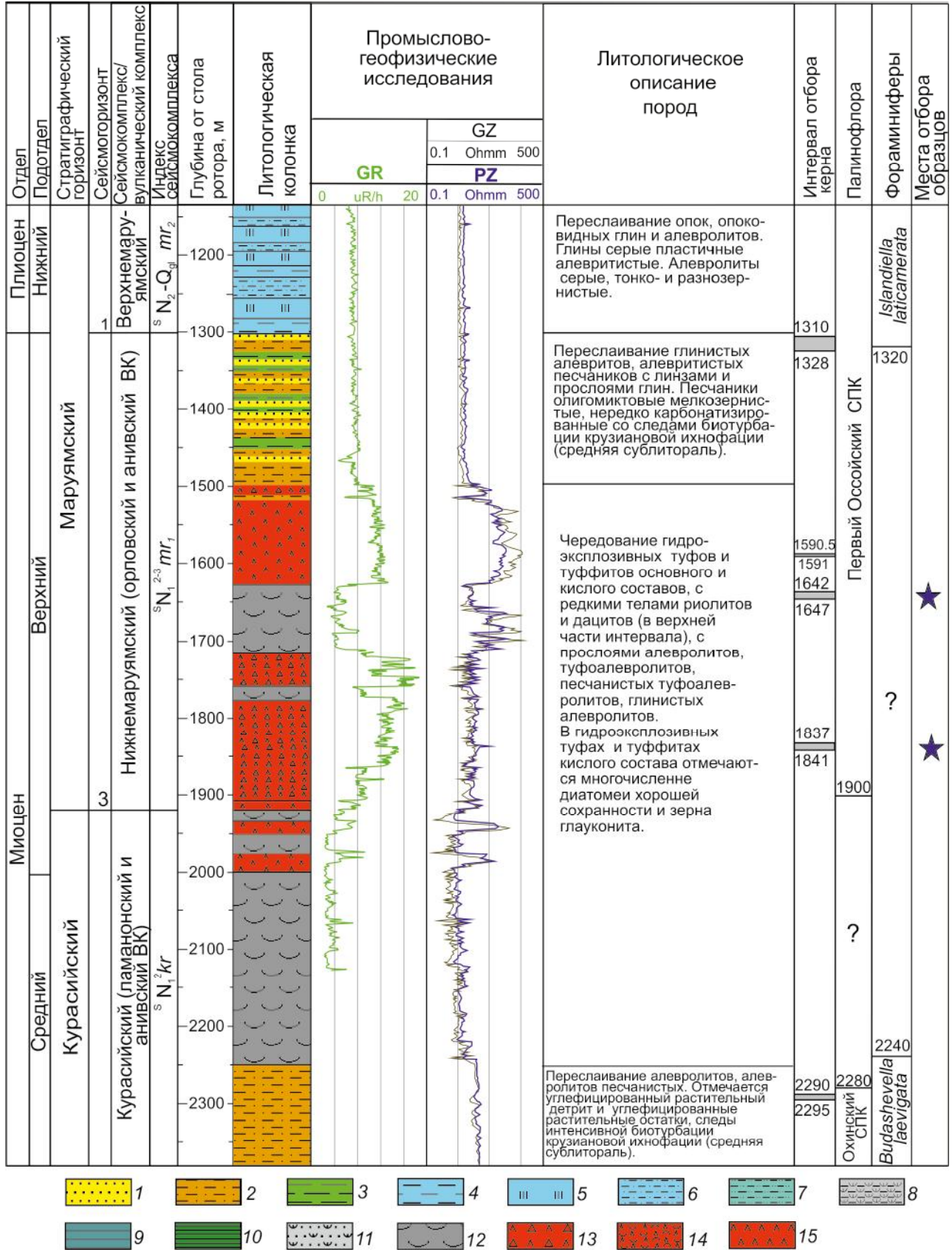


Рис. 4. Фрагмент литологической колонки скважины Надеждинская-1.

Здесь и далее: 1 – песчаники, 2 – алевролиты, 3 – глины, 4 – опоковидные глины, 5 – опоки, 6 – опоковидные алевролиты, 7 – крем-

К сожалению, к настоящему моменту, керн инт. 1590.5–1591 м, где были описаны риолиты, утерян. По данным Н.А. Деревсковой, риолиты представляют собой полосчатые светловато-белые и красновато-бурые крепкие порфировые породы с микрофельзитовой основной массой. Порфировые выделения (20 % объема породы) представлены кристаллами (до 1 см) кислого плагиоклаза и кварца.

Гидроэксплозивные туфы и туффиты кислого состава (инт. 1837–1841 м) представляют собой светло-серые породы, насыщенные «рваными» обломками кислого стекла с флюидальной текстурой и многочисленными, вытянутыми вдоль флюидальности, порами (рис. 5, 6). Нередко в этих породах наблюдаются резорбированные кристаллы кварца. Кристаллы кварца и плагиоклаза в скрещенных николях часто имеют мозаичное и волнистое погасание (рис. 6, б), что указывает на сильное давление уже сформированных кристаллов, по-видимому, при шоковом остывании расплава в водной среде. В туффитах присутствуют черные окатанные обломки окварцованных эффузивов (рис. 5), в связующей массе часто наблюдаются остатки диатомей хорошей сохранности и зерна глауконита (рис. 6, в).

По содержанию породообразующих оксидов кислые гидроэксплозивные туфы и туффиты (инт. 1837–1841 м) относятся к продуктам дезинтеграции риолитовой магмы, по-видимому, низкой или нормальной щелочности (табл. 2). По содержаниям многих реперных микроэлементов породы обособлены от всех известных в районе исследований пород. Они характеризуются относительно высокими содержаниями высокочarged элементов (HSFE – Nb, Ta, Zr, Hf, Y, Th, U) и редкоземельных элементов (REE – Sm, Gd, Tb, Dy, Yb, Lu), а также пониженными концентрациями транзитных элементов (V, Ni, Cr) (рис. 7, а). На трехкомпонентной диаграмме Н. Харриса [11] эти породы тяготеют к полям внутриплитных гранитоидов (рис. 8).

К-Аг изотопный возраст вулканического стекла из крупного витрокласта гидроэксплозивного туффита позволяет датировать формирование этой породы верхним миоценом 8.2 ± 0.7 млн лет (табл. 1).

Гидроэксплозивная природа кислых вулканитов подтверждается локальной изометрической (в плане) формой их тел, которая отражается такой же формой

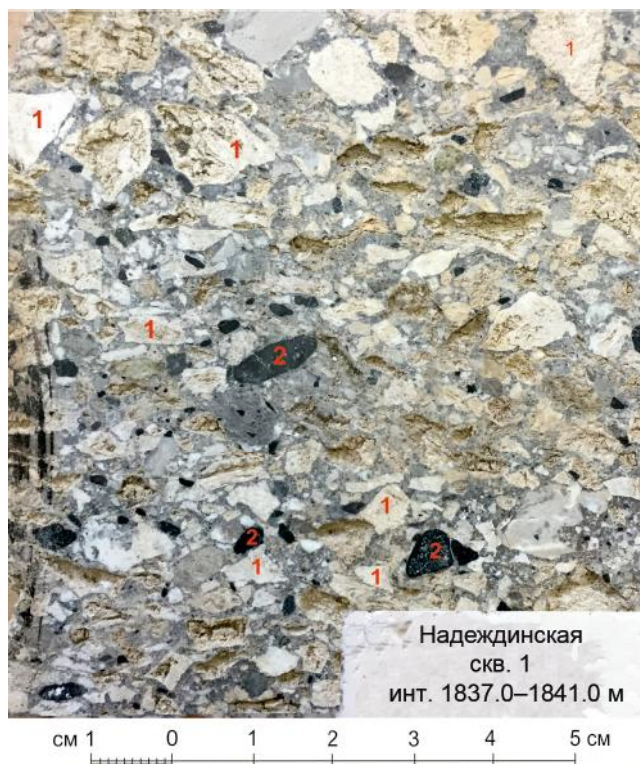


Рис. 5. Псефитовый гидроэксплозивный туффит риолита. Керн из инт. 1837–1841 м скв. Надеждинская-1.

1 – обломки кислого стекла с флюидальной текстурой; 2 – окатанные обломки окварцованных эффузивов.

аномалий в сейсмическом и в магнитном полях. Кроме того, в породах содержится изрядное количество мозаично погасающих кристаллов кварца, плагиоклаза и биотита, очень характерных для гидроэксплозивных туфов, образование которых связано с шоковым остыванием магматического расплава в водной или сильно обводненной среде.

В интервале 1625–1775 м в скв. Надеждинская-1 вскрыты интенсивно палагонитизированные гидроэксплозивные туфы базальтов преимущественно агломератовой и псефитовой размерности. Литокласты базальтов порфировые, миндалекаменные, двупироксеновые. Порфировые выделения в них составляют 50 % объема породы. Структура основной массы в литокластах гиалопилитовая, на отдельных мелких участках витрофировая и микролитовая. Связующая масса представлена (30–35 %) палагонитизированным вулканическим стеклом с микролитами

нистые туфоалевролиты; 8 – туфоалевролиты; 9 – кремнистые аргиллиты; 10 – аргиллиты; 11 – туфопесчаники; 12 – псефитовые, агломератовые и псаммитовые гидроэксплозивные туфы, туффиты и гиалокластиты базальтов, 13 – псефитовые, агломератовые и псаммитовые гидроэксплозивные туфы, туффиты и гиалокластиты кислого состава, 14 – псаммо-псефитовые и псаммитовые гидроэксплозивные туфы, туффиты и гиалокластиты кислого состава, 15 – риолиты, дациты и риодациты (вероятно, рвущие тела) с гидроэксплозивными туфами кислого состава.

Таблица 1. Результаты определения К-Ag возраста магматических пород шельфа о. Сахалин.

№ скважин с интервалом опробования или образцов с привязкой	№ лаб.	Вулканический или интрузивный комплекс	Название породы	Анализируемый материал	Калий, % $\pm \sigma$	$^{40}\text{Ar}_{\text{рад}}$ (нг/г) $\pm \sigma$	$^{40}\text{Ar}_{\text{атм}}$ %	Возраст, млн лет $\pm 2\sigma$
Надеждинская-1, 1642-1647 м	16764	орловский	литокласт из гидроксфлюидного туфа базальта	основная масса (стекло с микро-литами плагиоклаза)	0.91 \pm 0.015	0.415 \pm 0.012	65.3	6.6 \pm 0.4
Надеждинская-1, 1642-1647 м	16742	орловский	литокласт из гидроксфлюидного туфа базальта	валовая проба	0.86 \pm 0.015	0.436 \pm 0.021	76.1	7.3 \pm 0.7
Надеждинская-1, 1837-1841 м	16773	анивский	туфа базальта	стекло	1.96 \pm 0.02	1.12 \pm 0.05	90.1	8. \pm 0.7
Надеждинская-1, 1837-1841 м	16765	анивский	туффит риолита	концентрат полевых шпатов (50 %)	1.51 \pm 0.02	1.009 \pm 0.018	85.2	9.6 \pm 0.4
Ильинская-1, 2604-2613 м	16745	чеховский	туффит риолита базальт	валовая проба	1.27 \pm 0.02	0.991 \pm 0.025	63.1	11.2 \pm 0.7
Гавриловская-2, 2088-2091 м	16744	ламанонский	гидроксфлюидный туф базальта	валовая проба	1.27 \pm 0.02	0.715 \pm 0.015	57.6	8.1 \pm 0.4
Лебяжьиная, 2251-2254 м	16772	анивский	гидроксфлюидный туф риолита	стекло	1.05 \pm 0.02	1.225 \pm 0.017	47	16.7 \pm 0.8
Лебяжьиная-1, 2239-2242 м	16766	анивский	гидроксфлюидный туф риолита	концентрат биопита (70 %)	4.72 \pm 0.05	5.80 \pm 0.09	86	17.6 \pm 0.7
Лебяжьиная-1, 2239-2242 м	16746	анивский	гидроксфлюидный туф риолита	валовая проба	1.06 \pm 0.02	1.074 \pm 0.019	54.3	14.5 \pm 0.8
2011-2, м. Бакланова	16768	лесогорский	монцогаббро	концентрат полевых шпатов (70 %)	2.20 \pm 0.03	1.41 \pm 0.02	84.2	9.2 \pm 0.4
2011-2, м. Бакланова	16767	лесогорский	монцогаббро	концентрат амфибола (80 %)	0.97 \pm 0.015	0.837 \pm 0.016	38.9	12.4 \pm 0.6
2011-2, м. Бакланова	16751	лесогорский	монцогаббро	валовая проба	1.67 \pm 0.02	1.242 \pm 0.018	48.7	10.7 \pm 0.5
2021-1, м. Белкина	16770	лесогорский	монцогаббро	концентрат полевых шпатов (60 %)	2.41 \pm 0.03	1.50 \pm 0.03	87	8.9 \pm 0.4
2021-1, м. Белкина	16769	лесогорский	монцогаббро	биотит	6.70 \pm 0.07	6.25 \pm 0.03	27.1	13.4 \pm 0.3
2021-1, м. Белкина	16752	лесогорский	монцогаббро	валовая проба	2.15 \pm 0.03	1.47 \pm 0.08	77.4	9.8 \pm 1.0
МО-03*		лесогорский	трахидолерит	валовая проба	0.48 \pm 0.02	17.30 \pm 0.41	81.6	9.2 \pm 0.4
174**		лесогорский	щелочной габброид	биотит	4.46 \pm 0.04	4.51 \pm 0.13		14.5 \pm 0.7
175**		лесогорский	щелочной габброид	биотит	5.7 \pm 0.1	5.74 \pm 0.3		14.5 \pm 1.0
175**		лесогорский	щелочной габброид	плагиоклаз	0.51 \pm 0.015	0.37 \pm 0.02		10.5 \pm 1.0
175**		лесогорский	щелочной габброид	полевой шпат	1.48 \pm 0.02	0.47 \pm 0.02		4.6 \pm 0.4
177**		лесогорский	щелочной габброид	биотит	6.71 \pm 0.06	7.58 \pm 0.22		16.2 \pm 0.8
177**		лесогорский	щелочной габброид	полевой шпат	0.92 \pm 0.00	1.68 \pm 0.07		26.1 \pm 1.9

Примечание. * – образец м. Перевальный [12], ** – образцы В.Ф. Евсеева [3].

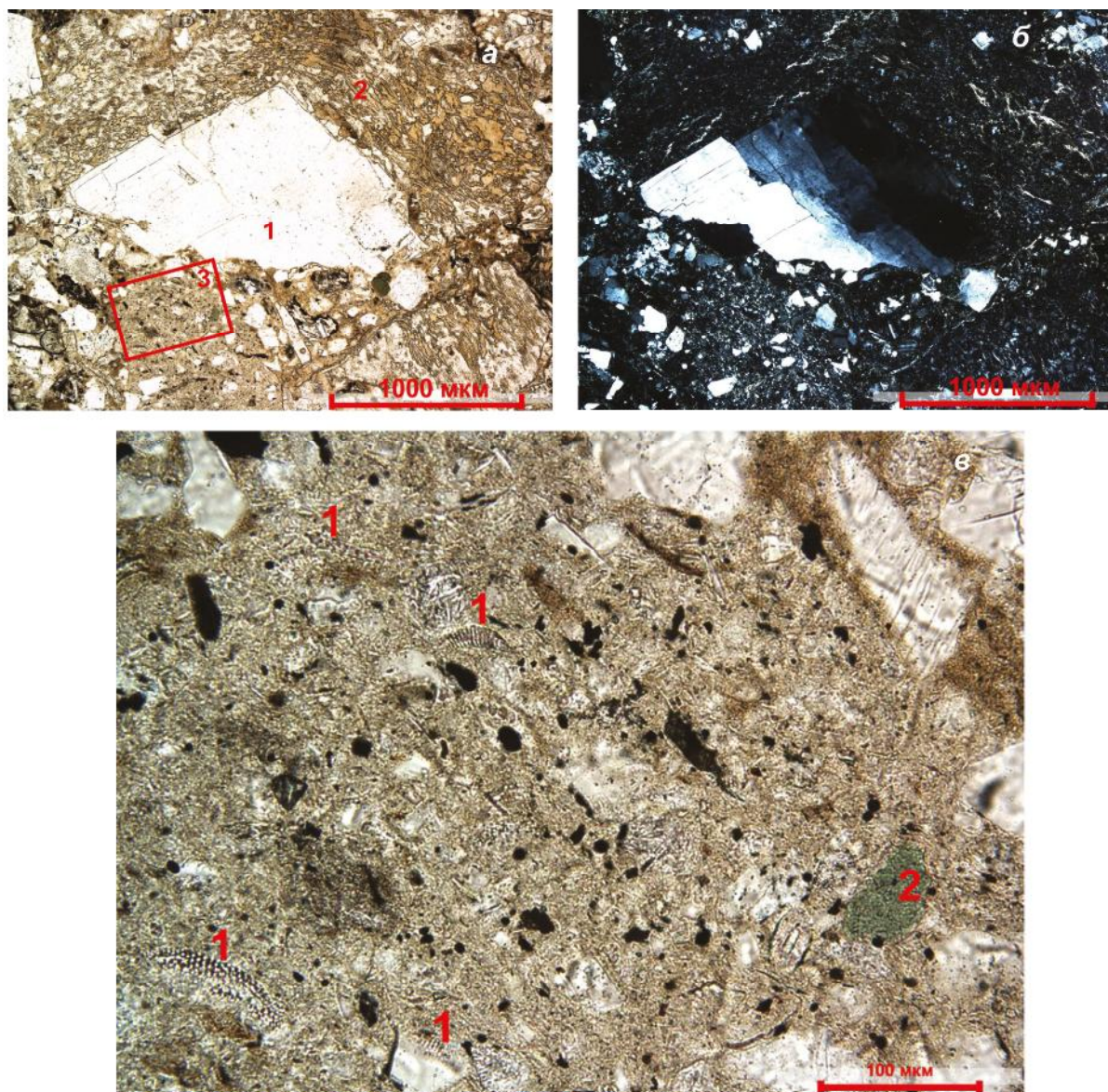


Рис. 6. Шлиф из псефитового гидроэксплозивного туффиита риолита (инт. 1837–1841 м скв. Надеждинская-1).

a и *б* – николи параллельные; *б* – николи скрещены; *a*: 1 – обломок кристалла плагиоклаза; 2 – обломок стекла с флюидальной текстурой; 3 – область увеличения, представленная на рис. 6, *в*; *в* – увеличенный фрагмент рис. 6, *a*: 1 – остатки диатомовых водорослей, 2 – зерно глауконита.

плагиоклаза и редкими мелкими зернами пироксенов и рудного минерала, с большим содержанием миндалин. Миндалины выполнены палагонитом, реже радиально-лучистым желто-зеленым хлоритом и кальцитом, последний нередко заполняет центральные части миндалин. Гидроэксплозивная природа этих пород, помимо большого количества пузырчатого и миндалекаменного палагонитизированного стекла, содержащегося в их составе, подтверждается изометрической формой их тела в плане и линзообразно-полого-конусообразной в разрезе.

По содержанию породообразующих оксидов гидроэксплозивные туфы инт. 1642–1647 м относятся к продуктам дезинтеграции основной магмы умеренной щелочности с повышенным содержанием оксида титана (1.51 %). По микрокомпонентному составу породы характеризуются высоким содержанием крупноионных литофильных элементов (LILE – Ba, Rb, K, Sr), повышенными содержаниями HSFE (Nb, Ta, Th, U), REE (Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Y, Yb, Lu) и пониженными – транзитных элементов (V, Ni, Cr) (рис. 7, *б*).

Таблица 2. Химический состав (оксиды в мас. %, микроэлементы в мкг/г) магматических пород шельфа о. Сахалин.

№№ образцов и скважин	2011-2	2021-1	Гавриловская-2	Лебяжьинская-1	Ильинская-1	Надеждинская-1	Надеждинская-1
Привязка	м. Бакланова	м. Белкина	2088–2091 м	2239–2242 м	2604–2613 м	1642–1647 м	1837–1841 м
Наименование породы	Монцогаббро	Монцогаббро	Гидроэксплозивный туф базальта	Гидроэксплозивный туф риолита	Базальт	Литокласт из гидроэксплозивного туфа базальта	Гидроэксплозивный туф риолита
Магматический комплекс	Лесогорский	Лесогорский	Ламанонский	Анивский	Чеховский	Орловский	Анивский
Вмещающий сейсмокомплекс	-	-	Курасийский	Невельский	Сергеевский	Нижнемаруямский	Нижнемаруямский
SiO ₂	52.11	52.62	46.01	69.39	45.48	46.94	71.80
Al ₂ O ₃	16.78	19.13	16.07	12.47	16.28	18.27	12.10
FeO	4.93	4.32	2.97	0.87	2.47	2.81	0.66
Fe ₂ O ₃	2.29	2.39	4.21	1.19	4.82	9.15	2.53
MnO	0.11	0.10	0.13	0.03	0.15	0.09	0.02
MgO	4.06	1.81	2.50	0.20	1.70	1.75	0.42
CaO	5.38	3.87	8.86	2.86	12.85	4.65	0.40
Na ₂ O	5.41	6.43	2.00	1.23	3.65	4.63	2.88
K ₂ O	2.28	3.27	1.54	1.46	1.57	1.01	2.28
TiO ₂	1.66	1.73	1.47	0.19	0.76	1.51	0.36
P ₂ O ₅	0.45	0.38	0.45	0.02	0.24	0.29	0.08
S	0.02	0.02	0.15	0.02	1.42	0.03	0.40
ППП	4.12	3.45	13.80	9.90	8.12	8.61	6.05
Сумма	99.59	99.54	100.17	99.83	99.50	99.74	99.99
Li	33.76	17.40	53.34	32.22	13.33	67.83	36.29
Be	2.35	2.74	1.67	1.23	0.90	2.55	16.12
B	7.34	6.34	18.40	10.13	7.93	10.00	13.76
Sc	20.95	11.15	18.76	4.82	29.80	22.92	4.47
Ti	10181	10693	10402	1367.3	4912.5	9286.2	2599.3
V	134.53	157.1	139.84	32.28	197.33	104.76	29.66
Cr	79.63	17.55	51.52	14.94	47.81	50.13	12.78
Mn	847.66	817.3	1101.2	222.18	1267.2	707.57	140.01
Co	21.55	15.86	23.90	3.27	23.36	20.11	5.65
Ni	98.76	32.44	58.37	20.71	43.28	44.92	22.76
Cu	47.69	59.57	38.48	21.72	74.19	41.44	18.07
Zn	61.24	56.65	86.26	37.15	67.47	141.15	298.91
Ga	18.10	19.14	21.76	13.20	15.68	29.10	35.15
Rb	19.10	26.02	37.23	72.43	20.79	33.80	204.60
Sr	511.29	626.1	733.49	486.64	571.14	323.70	181.51
Y	24.89	22.22	25.94	24.44	27.41	43.55	198.81
Zr	264.82	268.7	287.11	77.00	99.79	328.58	556.30
Nb	31.75	37.58	45.46	6.82	2.85	53.04	250.30
Mo	3.28	4.88	4.35	13.80	2.37	1.08	1.26
Cs	1.09	2.06	1.54	15.38	0.58	3.76	4.63
Ba	225.60	351.8	818.30	527.60	661.24	554.59	212.15
La	23.51	23.95	42.51	21.24	16.36	39.48	41.82
Ce	42.59	42.10	75.37	40.78	31.63	72.41	81.21
Pr	4.91	4.57	8.92	3.91	4.29	8.97	9.90
Nd	21.30	19.42	36.45	14.72	20.25	39.19	37.38
Sm	5.12	4.44	7.42	3.14	5.09	9.79	12.50
Eu	1.57	1.59	2.03	0.43	1.37	2.45	0.76
Gd	4.77	4.14	6.13	2.94	4.73	9.34	14.82
Tb	0.77	0.66	0.92	0.51	0.74	1.49	3.12
Dy	4.37	3.66	4.65	3.22	4.27	8.15	22.41

Таблица 2. (Окончание).

№№ образцов и скважин	2011-2	2021-1	Гаври- ловская-2	Лебяжин- ская-1	Ильинская-1	Надеж- динская-1	Надеж- динская-1
Привязка	м. Бакланова	м. Белкина	2088–2091 м	2239–2242 м	2604–2613 м	1642–1647 м	1837–1841 м
Компоненты							
Tb	0.77	0.66	0.92	0.51	0.74	1.49	3.12
Dy	4.37	3.66	4.65	3.22	4.27	8.15	22.41
Ho	0.91	0.78	0.92	0.76	0.95	1.66	5.37
Er	2.67	2.27	2.55	2.57	2.90	4.66	18.95
Tm	0.43	0.37	0.39	0.49	0.48	0.73	3.57
Yb	2.77	2.43	2.52	3.54	3.22	4.67	24.22
Lu	0.35	0.31	0.31	0.48	0.42	0.57	2.85
Hf	4.66	4.70	5.65	2.50	2.41	7.21	21.80
Ta	1.65	2.05	2.27	0.66	0.66	2.75	17.12
Tl	0.30	0.18	0.07	0.52	0.22	0.10	0.83
Pb	2.44	4.12	4.59	21.18	7.94	6.36	36.04
Th	3.05	3.58	4.63	12.12	3.37	8.83	26.99
U	0.99	1.24	1.10	3.75	0.48	1.91	9.07

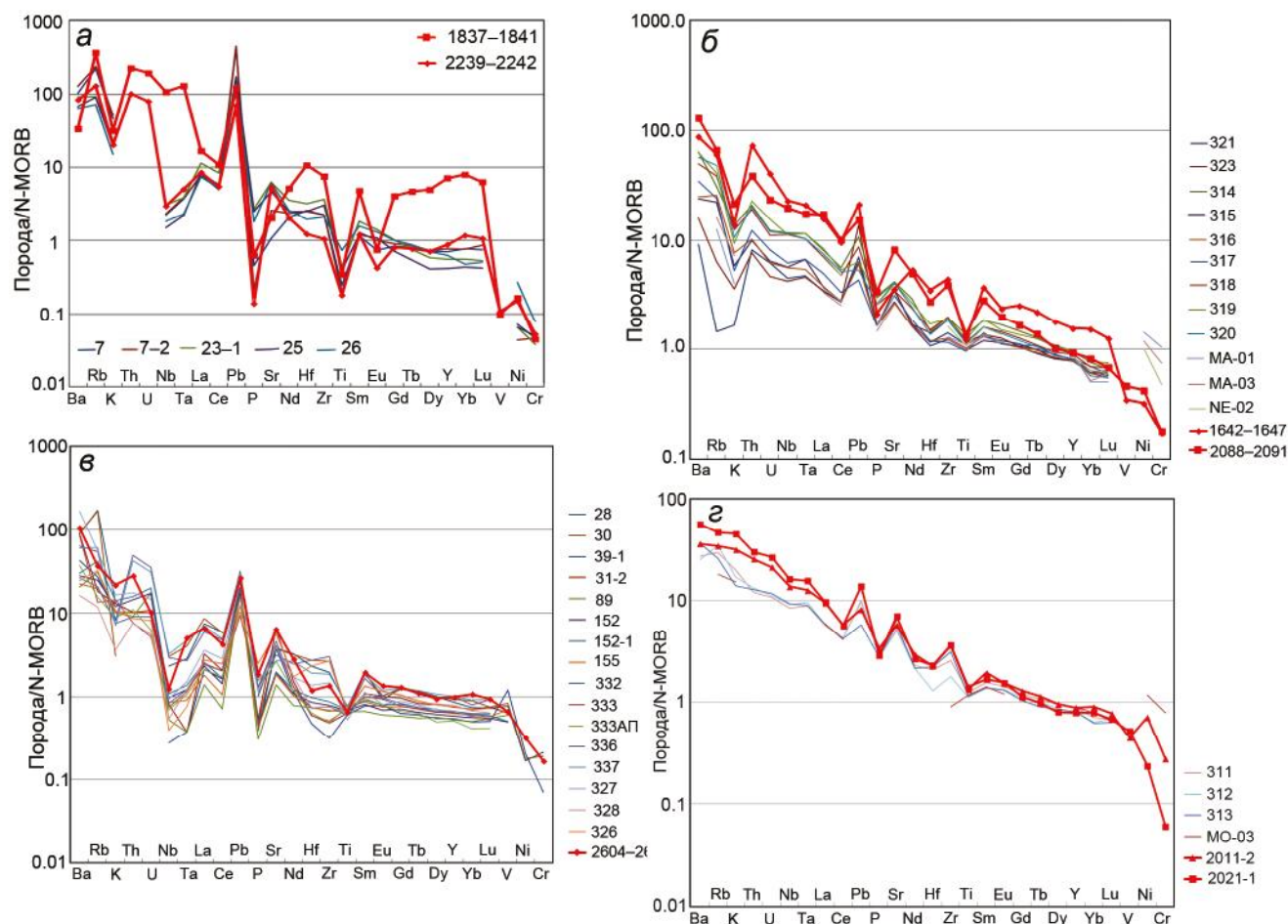


Рис. 7. Спайдер-диаграммы для неогеновых магматических пород о. Сахалин.

а – анивский ВК, б – ламанонский и орловский ВК, в – чеховский ВК, г – лесогорский комплекс. Графики с маркерами приведены по собственным результатам. Остальные данные заимствованы из статей [7, 12]. Микроэлементы нормированы к N-MORB по [13], с дополнениями.

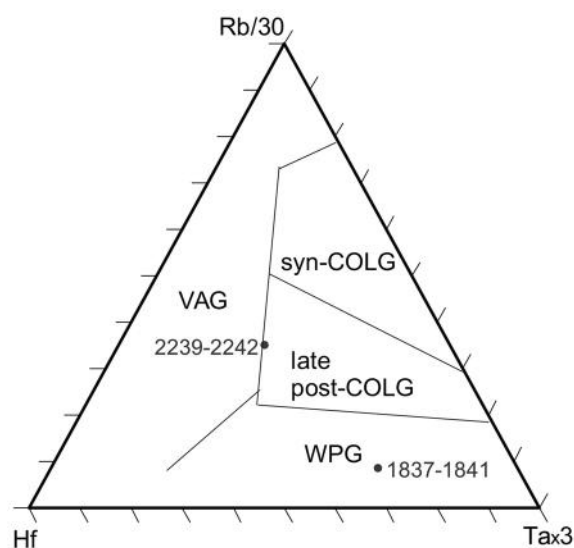


Рис. 8. Положение точек составов кислых гидроэксплозивных туфов анивского ВК западного (обр. 1837–1841) и восточного (обр. 2239–2242) шельфа Сахалина на дискриминационной диаграмме Rb/30–Hf–3Ta для гранитоидов [11].

Поля состава гранитоидов: WPG – внутриплитных; VAG – вулканических дуг; syn-COLG – синколлизонных; late-post-COLG – поздне- и постколлизонных.

По графику на спайдер-диаграмме эти породы отчетливо относятся к продуктам дезинтеграции внутриплитных базальтов, которые формировались в условиях задугового бассейна. К-Аг изотопная датировка основной массы литокласта гидроэксплозивного туфа базальта составляет 6.6 ± 0.4 млн лет (поздний миоцен) (табл. 1).

В инт. 1310–1328 м и инт. 2290–2295 м в скв. Надеждинская-1 во вскрытых песчано-алевритистых и алевро-глинистых отложениях, которые вмещают вышеописанные вулканогенные образования, отмечаются следы интенсивной биотурбации крузиановой ихнофашии. Эти наблюдения позволяют подтвердить, что вышеописанные вулканогидрокластические образования формировались в условиях средней сублиторали.

Ниже, в инт. 1920–2250 м скв. Надеждинская-1 (рис. 4) по каротажным данным и анализу шлама выявлены вулканиты, которые по сейсмозаписи и комплексам бентосных фораминифер (слои с *Budashevella laevigata*) отчетливо коррелируют с вулканогидрокластическими образованиями инт. 2025–2288 м скв. Гавриловская-2 (рис. 9). Керн последних (инт. 2074.2–2092 м) представлен чередованием гидроэксплозивных туфов и туффитов основного состава псаммитовой, псефитовой и алевритовой размерности. Для псефито-псаммитового гидроэкс-

пловивного туфа базальта инт. 2088–2091 м в скв. Гавриловская-2 получена К-Аг изотопная датировка 8.1 ± 0.4 млн лет (валовая проба) (табл. 1). По содержанию породообразующих оксидов гидроэксплозивные туфы относятся к продуктам дезинтеграции базальтов умеренной щелочности с повышенным содержанием оксида титана (1.47 %) (табл. 2). По микроэлементному составу породы характеризуются повышенными концентрациями LILE и HSFЕ и пониженными – тяжелых REE. По графику на спайдер-диаграмме эти породы отчетливо относятся к продуктам дезинтеграции внутриплитных базальтов, которые сформировались в условиях задугового бассейна (рис. 7, б). В прослоях туфоалевролитов, алевролитов и песчаных алевролитов, которые отмечаются среди гидроэксплозивных образований, отчетливо фиксируются следы биотурбации зоофикосовой ихнофашии, что подтверждает формирование этих вулканитов в условиях нижней сублиторали.

В инт. 2460–2760 м скв. Ильинская-1 (рис. 10) выявлены псефито-агломератовые, псефито-псаммитовые гидроэксплозивные туффиты и туфы базальтов, с подчиненными прослоями туфопесчаников, туфоалевролитов и кремнистых аргиллитов. Среди гидроэксплозивных пород в инт. 2604–2612 м отмечено тело базальта (вероятно, силл).

По содержанию породообразующих оксидов эти вулканиты относятся к продуктам дезинтеграции базальтов известково-щелочной серии (табл. 2). По микроэлементному составу породы характеризуются высоким содержанием LILE (рис. 7, в).

Среди HSFЕ в породах наблюдается повышенное содержание Th и U при комплементарном обеднении их Nb и Та. Концентрации транзитных элементов (V, Ni, Cr) характеризуются резко пониженным уровнем. Содержания REE в целом не отличаются от таковых, характерных для базальтов N-MORB. По графику на спайдер-диаграмме эти породы отчетливо относятся к продуктам дезинтеграции островодужных известково-щелочных базальтов. К-Аг возраст базальтов из этого интервала скважины составляет 11.0 ± 0.7 млн лет (табл. 1).

В пределах восточного шельфа о. Сахалин в скв. Лебяжьинская-1 вулканиты вскрыты в инт. 2239–2257 м (рис. 11), где они представлены псаммопсефитовыми гидроэксплозивными туфами риолита (рис. 12). Породы сложены «рваными» обломками кислого стекла с флюидальной текстурой и многочисленными вытянутыми вдоль флюидальности порами, кристаллами резорбированного кварца, плагиоклаза, биотита, вторичных кварцитов (рис. 13, а–в). Кристаллы кварца, плагиоклаза и биотита (рис. 13, а) в скрещенных николях часто имеют мозаичное пога-

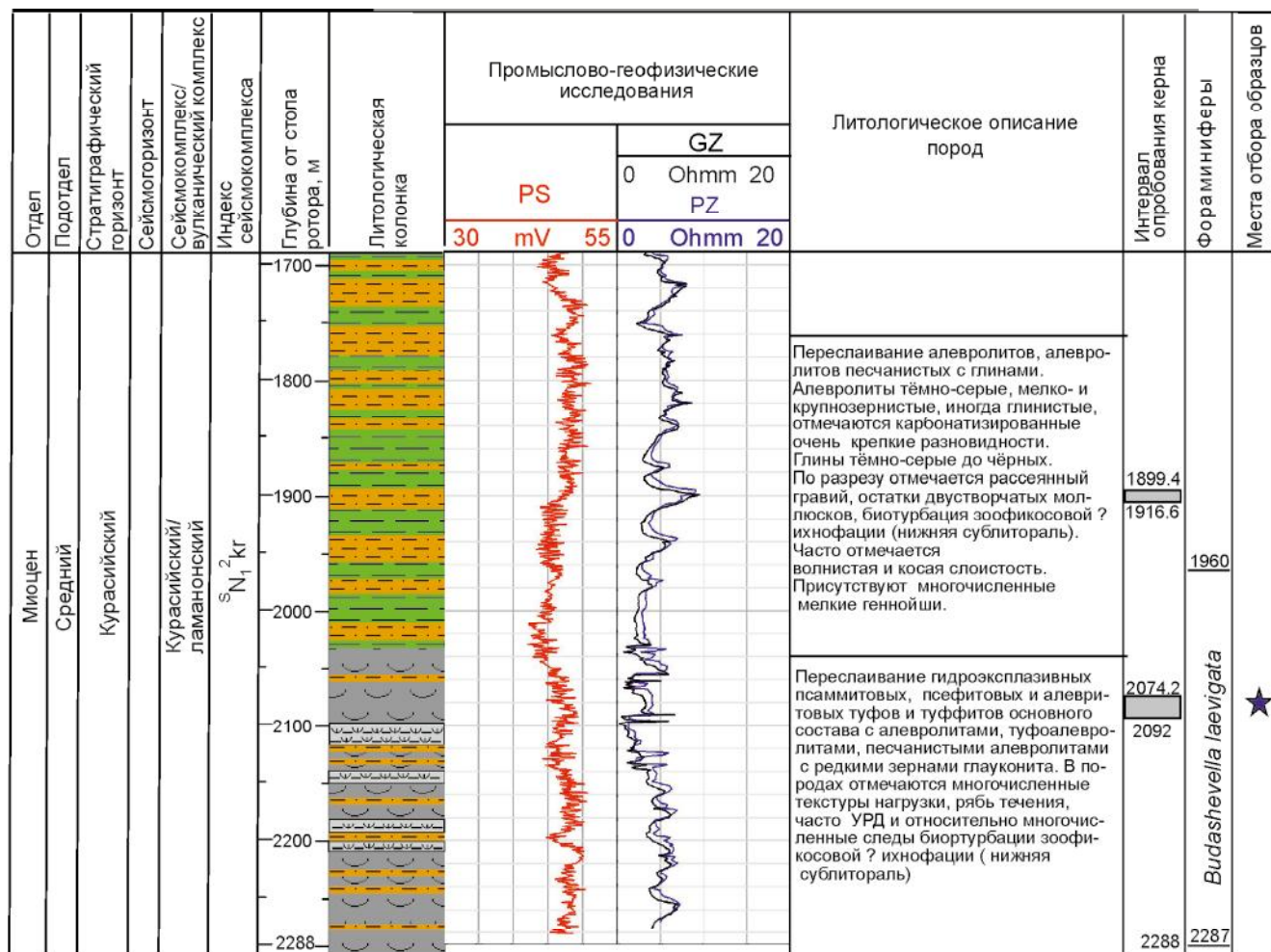


Рис. 9. Фрагмент литологической колонки скважины Гавриловская-2.

Условные обозначения см. рис. 4.

сание, что указывает на стрессовое давление на уже сформированные кристаллы при шоковом остывании расплава в воде.

По содержанию породообразующих оксидов эти кислые гидроэксплазивные туфы (инт. 2239–2242 м), относятся к продуктам дезинтеграции риолитовой магмы, видимо низкой или нормальной щелочности (табл. 2). По содержанию микрокомпонентов породы характеризуются высокими концентрациями LILE и HSFЕ (Th, U), относительно пониженными – тяжелых REE (Gd, Tb, Dy) и резко пониженными – транзитных элементов (V, Ni, Cr) (рис. 7, а).

На трехкомпонентной диаграмме Н. Харриса [11] эти породы расположены на границе полей постколлизийных гранитов и гранитов вулканических дуг (рис. 8).

К-Аг изотопный возраст витрокласта гидроэксплазивного туффита риолита (инт. 2239–2242 м) определен как ранний миоцен 16.7 ± 0.8 млн лет (табл. 1).

Для образцов пород лесогорского сиенит-эксекситового комплекса гипабиссальных малых интрузий, отобранных в ходе полевых исследований на суше Западного Сахалина (мыс Бакланова и мыс Белкина) в 2019 г., получены данные об их петролого-геохимических характеристиках (породообразующие оксиды и микроэлементы – табл. 2) и изотопном возрасте (табл. 1).

К наиболее молодым породам, прорываемым интрузиями лесогорского комплекса, относятся средневерхнемиоценовые отложения курасийской свиты.

По микрокомпонентному составу щелочные габброиды (2011-2, 2012-1) лесогорского комплекса характеризуются высокими концентрациями LILE, HSFЕ и REE и пониженными – транзитных элементов (V, Ni, Cr) (рис. 7, з). На спайдер-диаграмме эти породы отчетливо относятся к продуктам дезинтеграции внутриплитных базальтов, которые формировались в условиях задугового бассейна.

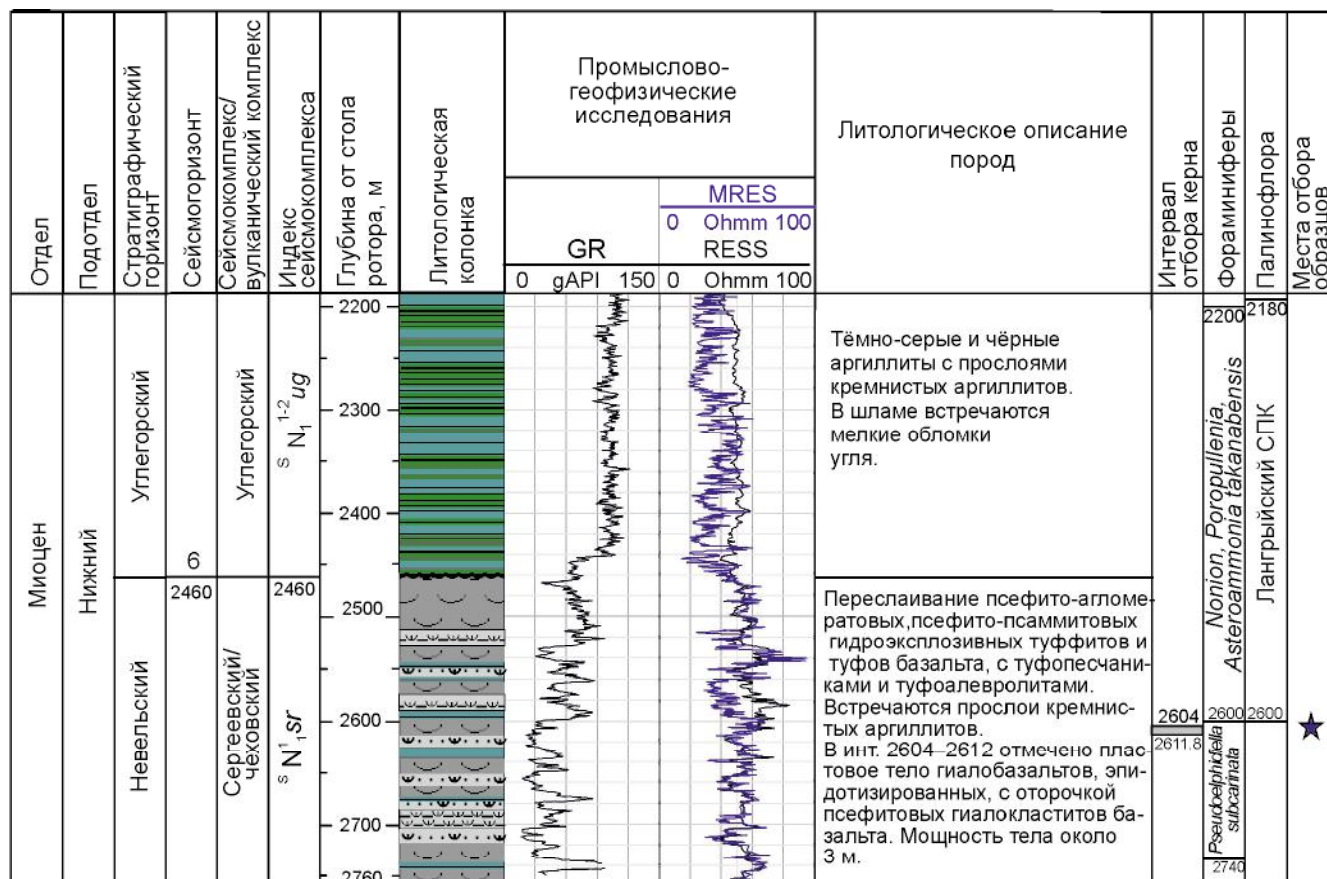


Рис. 10. Фрагмент литологической колонки скважины Ильинская-1.

Условные обозначения – см. рис. 4.

По результатам К-Аг датирования возраст щелочных габброидов лесогорского комплекса составляет от 8.9 ± 0.4 до 16.2 ± 0.8 млн лет, что соответствует концу раннего–началу позднего миоцена (табл. 1).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По своим петрографическим, петролого-геохимическим характеристикам, изотопному возрасту вскрытые на шельфе магматические породы можно отнести к распространенным в пределах Южного Сахалина вулканическим комплексам (ВК): чеховскому, анивскому, ламанонскому и орловскому [2, 3, 7, 9, 10].

К миоценовому чеховскому ВК по петролого-геохимическим характеристикам и изотопному возрасту относятся гидроэксплозивные образования основного состава, вскрытые в скв. Ильинская-1 в инт. 2460–2760 м. Данные биостратиграфического анализа, а именно наличие в верхних секциях гидроэксплозивных образований (инт. 2460–2600 м) ранне-среднемиоценового Лангрыйского спорово-пыльцевого комплекса (СПК), а в нижних секциях (инт.

2600–2740 м) бентосных фораминифер, характерных для нижнего миоцена–верхнего олигоцена (слои с *Pseudelphidiella subcarinata*), также не противоречат отнесению этих вулканитов к образованиям миоценового чеховского ВК.

К миоценовому анивскому ВК по данным изотопного датирования и изучения петролого-геохимических характеристик относятся гидроэксплозивные образования риолитов инт. 1500–2250 м скв. Надеждинская-1. Косвенно это подтверждается наличием в этих породах скв. Надеждинская-1 (в инт. 740–1900 м) Первого Оссойского СПК (рис. 4), характерного для верхнемиоцен-плиоценовых отложений Сахалина [1, 9].

К миоценовому анивскому ВК, согласно петролого-геохимическим и геохронологическим данным, можно однозначно отнести и кислые вулканиты скв. Лебяжьинская-1 (инт. 2239–2257 м). Полученная для этих образований К-Аг датировка (16.7 ± 0.8 млн лет) хорошо сопоставляется с изотопным возрастом риолитов, слагающих sillы юго-восточного Сахалина (г. Хмелевка, м. Муловского), которые на Гос-

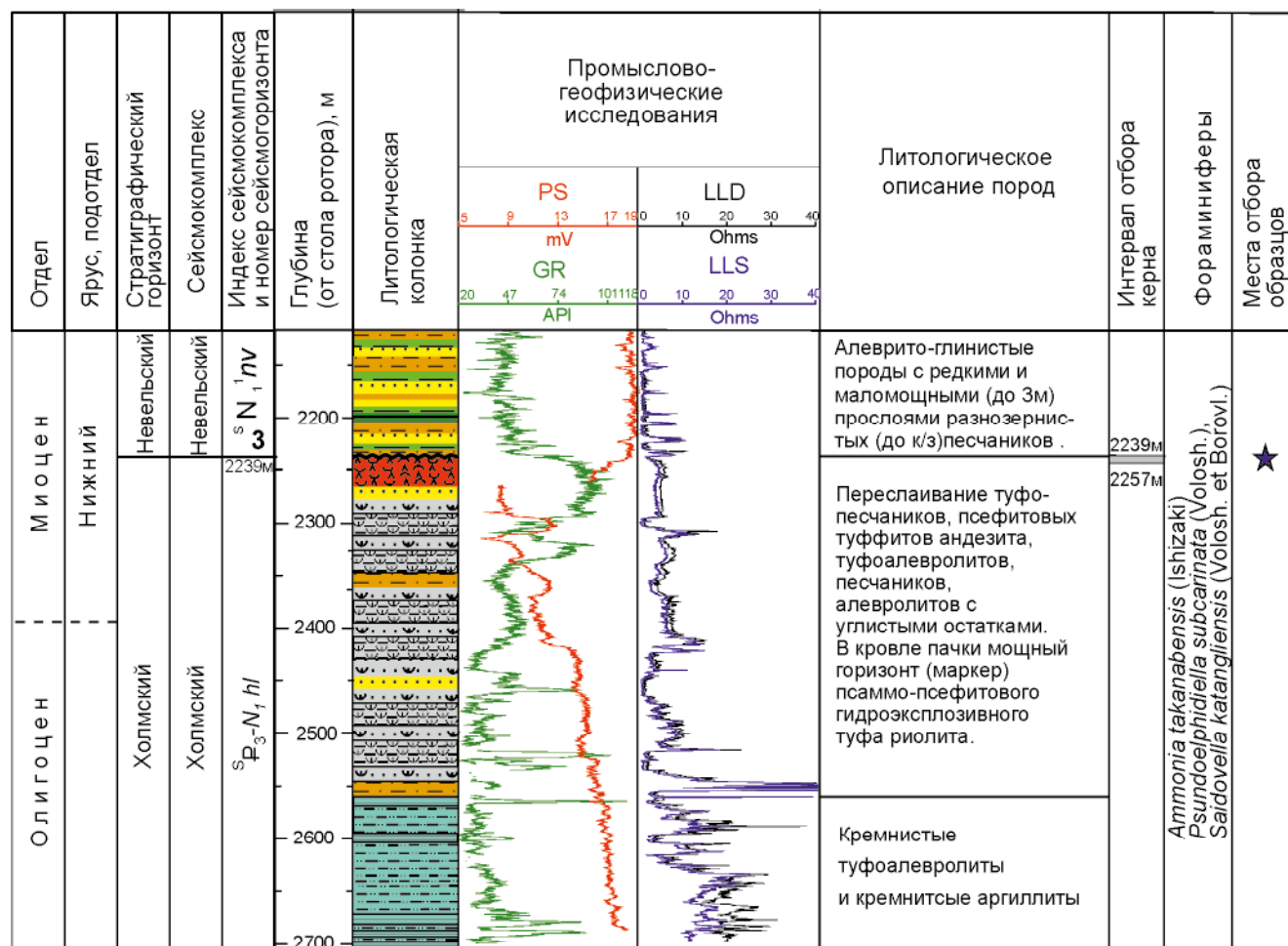


Рис. 11. Фрагмент литологической колонки скважины Лебяжьинская-1.

Условные обозначения – см. рис. 4.

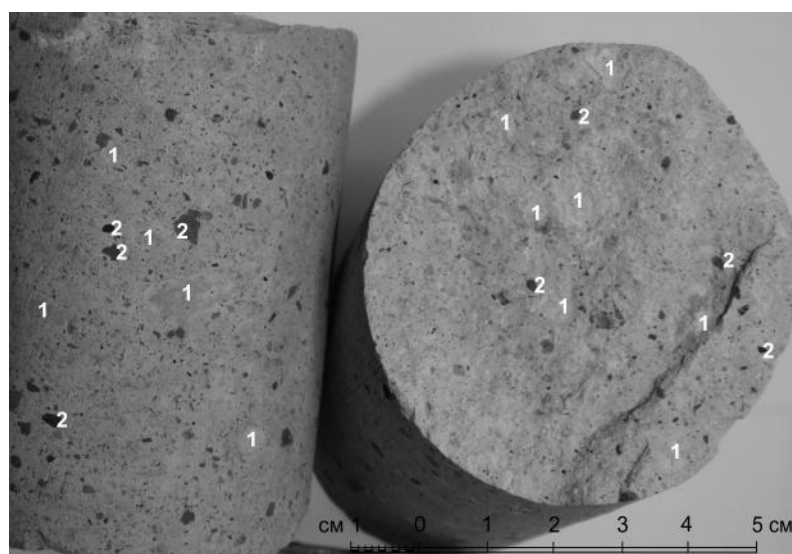


Рис. 12. Псаммо-псефитовый гидроэсплозивный туф риолита.

Керн из инт. 2251–2254 м скв. Лебяжьинская-1. 1 – обломки кислого стекла с флюидальной текстурой, 2 – обломки окварцованных пород.

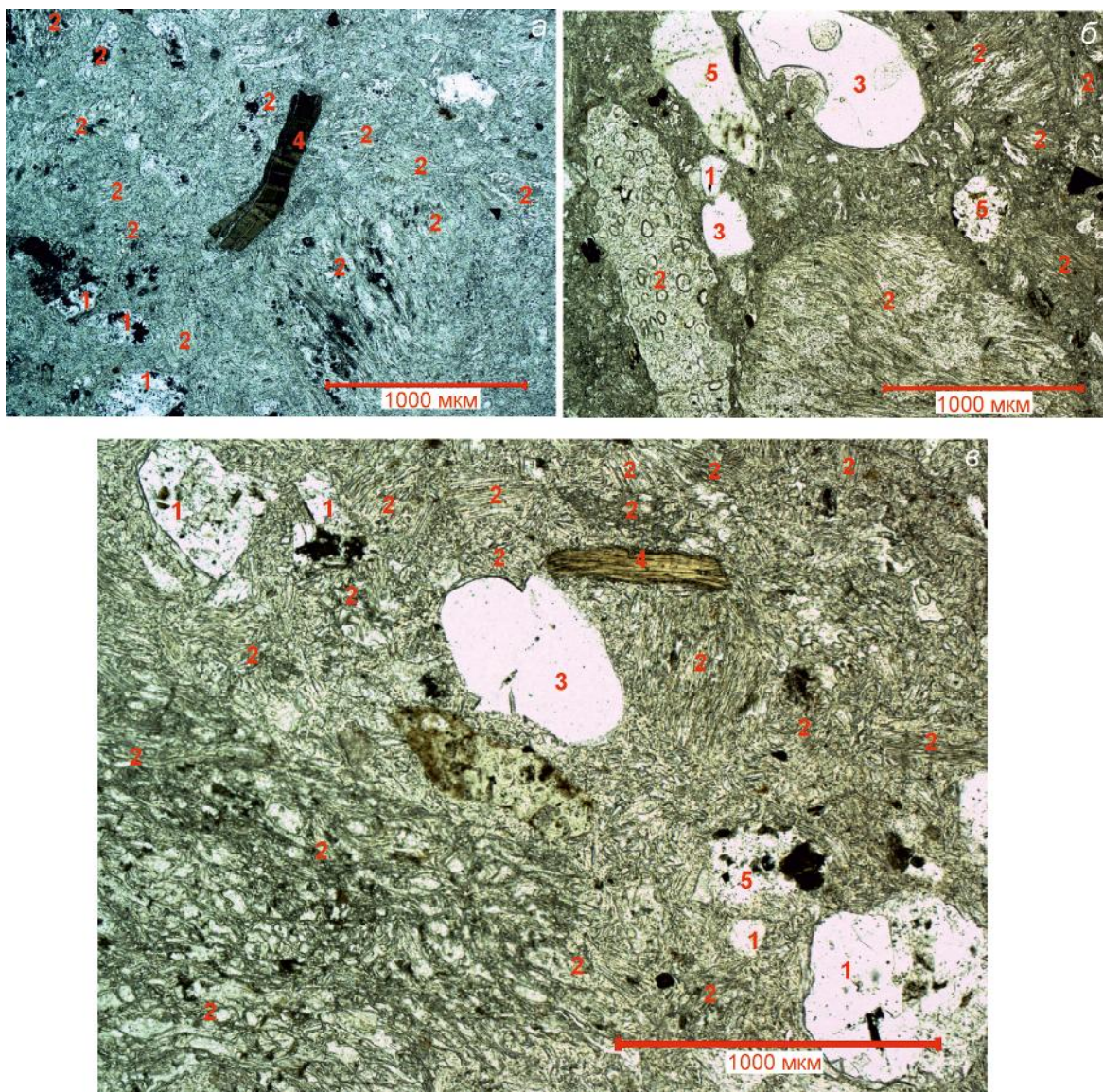


Рис. 13. Микрофотографии шлифов псаммо-псефитового гидроэксплозивного туфа риолита (инт. 2242–2254 м скв. Лебяжбинская-1).

Николи параллельные. 1 – обломки кристаллов плагиоклаза, 2 – обломки вулканического стекла с флюидальной текстурой, 3 – кристаллы кварца, 4 – кристаллы биотита, 5 – обломки окварцованных пород (до вторичных кварцитов).

геолкарте 1000/3 отнесены к анивскому ВК. Критерием для включения этих силлов в анивский ВК при составлении Госгеолкарты 1000/3 явились три К-Аг датировки (19.0 ± 1.1 , 20.2 ± 1.3 , 21.3 ± 1.3 млн лет) из основной массы риолита г. Хмелевка, произведенные ранее в изотопной лаборатории ИГЕМ РАН, и две датировки (19.5 ± 0.3 и 19.8 ± 0.4 млн лет), полученные U-Pb-методом с использованием вторично-ионного масс-спектрометра SHRIMP-II по цирконам из риодацита м. Муловского (выполненные в АЦ ВСЕГЕИ).

Раннемиоценовый возраст пород, слагающих инт. 2239–2257 м в скв. Лебяжбинская-1, подтверждается и наличием в нижележащих и перекрывающих эти вулканы терригенных породах комплекса бентосных фораминифер с *Pseudoelphidiella subcarinata*, который характерен для пород нижнего миоцена–верхнего олигоцена.

Кислые гидроэксплозивные вулканы скв. Надеждинская-1 и Лебяжбинская-1 не могут быть отнесены к образованиям ичарского ВК вследствие того, что для последних установлена адакитовая специали-

зация [8], которая совершенно не характерна для рассматриваемых пород.

К средне-позднемиоценовому ламанонскому ВК по петролого-геохимическим характеристикам и данным изотопного датирования относятся гидроэксплозивные образования основного состава, вскрытые в скв. Гавриловская-2 в инт. 2025–2288 м и в скв. Надеждинская-1 в инт. 1920–2250 м. Возраст этих отложений также подтверждается наличием в этих породах в скв. Надеждинская-1 (инт. 2280–2522 м) Охинского СПК и комплекса фораминифер с *Budashevella laevigata* (инт. 2240–2520 м скв. Надеждинская-1 и инт. 2040–2287 м скв. Гавриловская-2).

К плиоценовому орловскому ВК по петролого-геохимическим данным вполне могут быть отнесены вулканокластические породы основного состава инт. 1625–1775 м в скв. Надеждинская-1, хотя датированы они (К-Аг методом) поздним миоценом (6.6 ± 0.4 млн лет). Авторы допускают, что К-Аг изотопный возраст этих пород был несколько удревнен из-за присутствия в анализированном материале избыточного ^{40}Ar . Наличие в этих отложениях палиноспектра Первого Оссойского СПК (в инт. 740–1900 м скв. Надеждинская-1) также не противоречит сопоставлению этих образований с орловским ВК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение петролого-геохимических и петрографических характеристик кайнозойских магматических пород западного и юго-восточного шельфа Сахалина и результаты их изотопного датирования позволяют сделать следующие выводы:

- подавляющее количество магматических пород, вскрытых скважинами на шельфе Сахалина и доступных для изучения, относятся к гидроэксплозивным образованиям кислого и основного состава;

- по петролого-геохимическим характеристикам, в частности по содержанию реперных микроэлементов, они относятся либо к островодужным образованиям (скв. Ильинская-1), либо к внутриплитным вулканитам (скв. Надеждинская-1, Гавриловская-2 и Лебяжьинская-1), сформировавшимся в условиях задугового бассейна;

- по возрасту и химическому составу (микроэлементы) магматические породы шельфа Сахалина могут быть сопоставлены с образованиями следующих вулканических комплексов, установленных на суше Сахалина: в скв. Лебяжьинская-1 (инт. 2239–2257 м) и Надеждинская-1 (инт. 1500–1625 м и 1720–2000 м) с анивским ВК, в скв. Надеждинская-1 (инт. 1625–1715 м) с орловским ВК, в скв. Надеждинская-1 (инт. 1920–2250 м) и Гавриловская-2 (инт. 2225–2288 м)

с ламанонским ВК, в скв. Ильинская-1 (инт. 2460–2760 м) с чеховским ВК;

В результате К-Аг датирования пород лесогорского гиабиссального комплекса малых интрузий западного Сахалина и анализа взаимоотношения тел комплекса с вмещающими породами возраст формирования этих образований определен концом раннего-началом позднего миоцена (8.9–16.2 млн лет). Химический состав малых элементов пород лесогорского комплекса позволяет их отнести к внутриплитным образованиям, сформировавшимся в обстановке задугового бассейна.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны С.Б. Лыковой (ООО «РН-СахалинНИПИморнефть») за бесценную помощь в проведении опробования керна скважин, Ю.В. Кострову и А.Э. Хардикову (ООО «РН-СахалинНИПИморнефть») – основным исполнителям полевых работ в рамках региональных работ, инициированных ПАО «НК «Роснефть».

Авторы очень благодарны О.А. Кровушкиной (ООО «РН-Шельф-Арктика») за постоянную помощь и поддержку в организации этих работ.

Авторы чрезвычайно признательны рецензентам А.В. Рыбину и Т.А. Емельяновой за внимательный анализ рукописи и конструктивные замечания, позволившие значительно улучшить публикацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гладенков Ю.Б., Баженова О.К., Гречин В.И., Маргулис Л.С., Сальников Б.А. Кайнозой Сахалина и его нефтегазоносность. М.: ГЕОС, 2002. 2205 с.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:200 000 (Изд. 2-е. Серия Сахалинская. Листы L-54-X, XI (Луговое), L-54-XII (Охотское), L-54-XVI, XXIII (Корсаков), L-54-XVIII (Озерская): Объясн. зап. (А.Э. Жаров, В.Г. Гальверсен). СПб.: Картограф. фабрика ВСЕГЕИ, 2001. 276 с.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Дальневосточная. Лист М-54 Александровск-Сахалинский: Объясн. зап. (В.А. Дымович, С.В. Евсеев, В.Ф. Евсеев, Е.Н. Нестерова, Л.С. Маргулис, А.Ф. Атращенко, И.В. Беляев, А.Н. Деркачев, В.Н. Зелепугин, А.А. Коноваленко, Е.С. Опалихина, Ю.В. Рыбак-Франко, И.В. Уткин, Г.А. Хайбулина при участии О.В. Желебогло, Ю.Ю. Юрченко). СПб.: Картограф. фабрика ВСЕГЕИ, 2016. 599 с.
4. Жаров А.Э., Кириллова Г.Л., Маргулис Л.С., Чуйко Л.С., Куделькин В.В., Варнавский В.Г., Гагаев, В.Н. / Отв. ред. Г.Л. Кириллова. Владивосток: ДВО РАН, 2004. 220 с.
5. Куликов Н.В., Деревскова Н.А. Параметрическое бурение в заливе Анива (Хоккайдо-Сахалинская складчатая область). 1992.
6. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. Изд-е третье, испр. и доп. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 200 с.

7. Рассказов С.В., Мельников О.А., Рыбин А.В., Гурьянов В.А., Ясыгина Т.А., Брандт И.С., Брандт С.Б., Саранина Е.В., Масловская М.Н., Фефлеев Н.Н., Жаров А.Э. Пространственная смена глубинных источников кайнозойских вулканических пород западного побережья Южного Сахалина // Тихоокеан. геология. 2005. Т. 24, № 2. С. 10–32.
8. Рассказов С.В., Рыбин А.В., Дегтерев А.В., Чувашова И.С., Ясныгина Т.А., Саранина Е.В. Плиоценовый адакитоподобный акцент андезитов и дацитов на Орловском вулканическом поле (о. Сахалин). Геосистемы переходных зон. 2021. ИМГиГ. Т. 5, № 3. С. 255–274.
9. Решения рабочих Межведомственных региональных стратиграфических совещаний по палеогену и неогену восточных районов России - Камчатка, Корякского нагорья, Сахалина и Курильских островов. Объяснительная записка к стратиграфическим схемам. М.: ГЕОС, 1998. 147 с.
10. Семенов Д.Ф. Магматические формации тихоокеанских складчатых областей (на примере Сахалина). М.: Наука, 1982. 168 с.
11. Harris N.B.W., Pearce J.A., Tindle A.G. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism / M.P. Coward, A.C. Ries (Eds.) // Collisions tectonics. Geol. Soc. Spec. Publ. 1986. V. 19. P. 67–81.
12. Shimazu M., Furuyama K., Kawano Y., Okamura S., Ohira H., Yamamoto G. K-Ar ages, major and minor element compositions and Sr, Nd isotope ratios of volcanic rocks from the western part of south Sakhalin, USSR // J. Min. Petr. Econ. Geol. 1992. 87. P. 50–61.
13. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes / Magmatism in the oceanic basins. AD. Saunders, M.J. Norry (Eds.) // Geol. Soc. Spec. Publ. 1989. N 42. P. 313–345.

Рекомендована к печати Ю.А. Мартыновым

после доработки 26.11.2021 г.

принята к печати 19.01.2022 г.

P.Yu. Kovtunovich, E.S. Rudnitskaya, L.S. Safronova, A.V. Lebedev, A.V. Levin, N.A. Malyshev, V.E. Verzhbitskiy, V.V. Obmetko, A.A. Borodulin

Age and composition of igneous rocks from the Cenozoic sedimentary cover of the Sakhalin shelf

For the first time, data on the K-Ar isotopic age and petrological-geochemical composition were obtained for igneous rocks using the core samples recovered from the previously drilled holes on the Sakhalin shelf. Based on these data, the igneous rocks were compared to the rocks of the Anivsky, Orlovsky, Lamanonsky, and Chekhovsky volcanic complexes. Isotopic dating on rocks from the Lesogorsky complex of hypabyssal small intrusions exposed on the west coast of Sakhalin Island allowed tighter constrains to be placed on the timing of its formation (8.9–16.2 Ma).

Key words: K-Ar isotopic age, shelf, Anivsky volcanic complex, Orlovsky volcanic complex, Lamanonsky volcanic complex, Chekhovsky volcanic complex, Lesogorsky volcanic complex, Sakhalin Island.